

Научно-исследовательская работа

Физика

**ВАНАДАТНЫЙ ЛАЗЕР С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ
ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**

Выполнили:

Матвиенко Диана Алексеевна

Студент 1 курса

РТУ МИРЭА

Кирилова Ольга Алексеевна

Учащаяся 11 класса

МАОУ СОШ № 2 имени Н. А. Тимофеева, Россия, г. Бронницы

Перевезенцева Полина Алексеевна

Учащаяся 11 класса

МАОУ СОШ № 2 имени Н. А. Тимофеева, Россия, г. Бронницы

Руководитель:

Хорикова Светлана Анатольевна

Учитель физики

МАОУ СОШ № 2 имени Н. А. Тимофеева, Россия, г. Бронницы

*Бронницы
2022*

Аннотация

Использование лазеров в прикладных областях фотоники и оптической техники предъявляет высокие требования как к поперечной и продольной форме пучка, угловой расходимости, так и степени когерентности излучения. Вместе с тем отсутствуют приборы прямого измерения когерентности световых пучков. Поэтому в нашем проекте была поставлена цель – разработать лазерный интерферометр Майкельсона для измерения временной когерентности световых пучков с применением ПЗС-камеры для цифрового анализа интерферограммы и определения видности интерференционной картины.

Для калибровки интерферометра в проекте выполнена сборка и юстировка одночастотного лазера на кристалле ванадата с примесью ионов Nd^{3+} с удвоением частоты и с продольной накачкой двумя одноваттными лазерными диодами. Полученные в работе экспериментальные результаты измерения временной когерентности излучения различных типов лазеров могут быть основой для разработки оптического прибора для измерения параметров лазерных излучателей, что имеет важное научно-техническое и прикладное значение.

Содержание:

1. Постановка задачи исследования.
2. Проектирование одночастотного лазера для калибровки интерферометра Майкельсона.
3. Макетирование лазерного интерферометра Майкельсона для цифрового измерения временной когерентности световых пучков с применением ПЗС-камеры.
4. Обработка методики измерения диаметра пучка и угловой расходимости по цифровому анализу профиля пучка с применением ГВС-камеры.
5. Обработка методики измерения временной когерентности лазерных пучков.
6. Экспериментальные результаты и их обсуждение.
7. Заключение. Научно-техническая и практическая ценность проекта.
8. Список литературы
9. Приложения

Введение

Актуальность. Использование лазеров в современных оптических приборах предъявляет высокие требования к геометрическим характеристикам излучения, к степени когерентности лазерных пучков. Однако промышленность не выпускает приборов прямого измерения этих характеристик. Поэтому проектирование макета лазерного интерферометра Майкельсона представляется актуальным.

Цели и задачи проекта

1. Разработать экспериментальный макет лазерного интерферометра Майкельсона для измерения временной когерентности световых пучков путем компьютерной обработки интерференционной картины по заданной программе с применением ГВС-камеры.
2. Осуществлять сборку и юстировку твердотельного одночастотного лазера на кристалле ванадата с удвоением частоты и накачкой двумя полупроводниковыми одноваттными лазерными диодами.
3. Реализовать методику измерения диаметра лазерного пучка на выходе лазера и его угловой расходимости путем компьютерной обработки профиля пучка.
4. Реализовать методику измерения времени и длины когерентности лазерных пучков по классической схеме интерферометра Майкельсона.

Основная часть

В лазерной исследовательской лаборатории нашей школы проектирован и собран экспериментальный макет лабораторного стенда для сборки и юстировки твердотельных лазерных излучателей с диодной накачкой и удвоением частоты с помощью нелинейных кристаллов и цифрового измерения их оптических характеристик и степени когерентности с применением ГВС-камеры и компьютера. На стенде реализована классическая схема интерферометра Майкельсона с цифровым анализом интерференционной картины с помощью ГВС-камеры и компьютера.

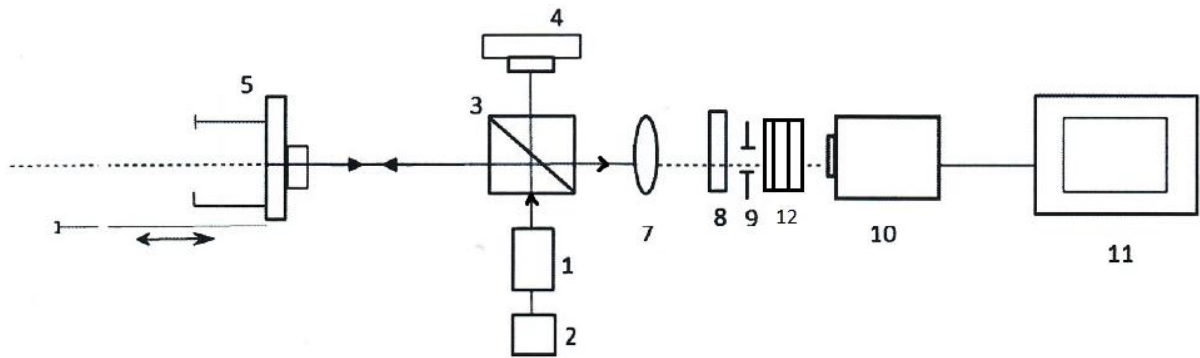
Схема измерений представлена на рисунке 1.

Когерентный пучок света от лазера 1 направляется на призму-куб 3, Один пучок проходит через призму в направлении неподвижного зеркала 4, отражается от него, возвращается в призму, отражается от нее и направляется на экран 8. Другой пучок отражается от призмы-куба и идет под прямым углом в направлении неподвижного зеркала 5, отражается от него, проходит призму-куб и попадает на экран. На экране накладываются две когерентные волны от одного и того же источника, прошедшие разные оптические пути, и интерferируют. Видность интерференционной картины:

$$V(P) = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = |Y_{\text{пр}}|$$

I_{\max} – максимальная интенсивность светлой полосы

Рисунок 1. Функциональная схема измерения когерентности лазерных пучков



- 1- лазер с диодной накачкой;
- 2- стабилизированный блок питания 5В;
- 3- призма-куб;
- 4- неподвижное плоское зеркало;
- 5- подвижное плоское зеркало;
- 6- устройство для плавного перемещения зеркала по оптической оси с микрометрическим винтом;
- 7- длиннофокусная линза;
- 8- экран для предварительного визуального наблюдения за интерференционной картины;
- 9- диафрагма;
- 10- ПЗС камера;
- 11- компьютер;
- 12- набор нейтральных фильтров

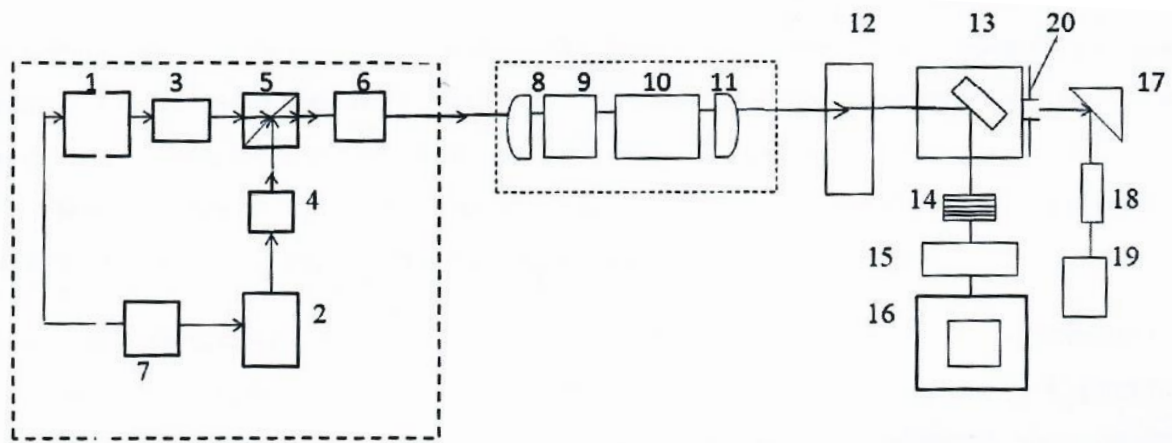
I_{min} – минимальная интенсивность темной полосы в окрестности точки P;
 $|Y_{pr}|$ - модуль степени времени когерентности.

После получения на экране четкой интерференционной картины экран 8 убирается и картина с помощью длиннофокусной линзы 7 проектируется на фотомшень ПЗС-камеры. Компьютерная обработка сигнала с ПЗС-камеры позволяет измерить видность интерференционной картины, которая равна степени временной когерентности, длину когерентности определяют по формуле:

$$L = c \cdot t_{кс}, \text{ где } c \text{ – скорость света в вакууме, } t_{кс} \text{ – время когерентности.}$$

Методика сборки и юстировки лазерного излучателя. Для калибровки интерферометра Майкельсона разработан одночастотный лазер на кристалле ванадата с удвоением частоты. Функциональная схема излучателя приведена на рис.2.

Рисунок 2. Функциональная схема лазерного излучателя.



- 1,2 – одноваттные лазерные диоды накачки;
- 3,4 – конденсоры;
- 5 – призма-куб;
- 6 – объектив;
- 7 – стабилизированный источник питания 5V;
- 8,11 – зеркала оптического резонатора;
- 9 – кристалл ванадата с Nd3+;
- 10 – нелинейный кристалл ниобата лития;
- 12 – телескоп двухкомпонентный для формирования геометрических параметров лазерного пучка;
- 13 – полупрозрачная пластина;
- 14 – набор нейтральных фильтров;
- 15 – ПЗС-камера;
- 16 – компьютер;
- 17 – призма;
- 18 – юстировочный лазер 532нм;
- 19 – блок питания 5V;
- 20 – экран с тонким отверстием.

Конструктивно лазерный излучатель выполнен в комбинации корпуса осветителя (1), корпуса резонатора (2) и корпуса телескопа (3). Корпуса осветителя и резонатора размещены на элементах Пельтье для стабилизации температуры активного элемента и лазерных диодов. В корпус осветителя установлены два полупроводниковых лазерных диодов (1и4), которые в небольших пределах могут перемещаться относительно конденсаторов (3 и 4). Излучение обоих диодов с помощью призмы куба (5) и объектива (6) фокусируется на кристалл ванадата с примесью неодима (4x4x4мм) в медной отпавке, приклеенной к основанию корпуса резонатора. В корпусе резонатора установлены также зеркала резонатора в специальных оправках. Одно из них (8) – входное с коэффициентом отражения 0,98 для линии второй гармоники 532нм, второе – выходное 11 с коэффициентом пропускания 0,4-0,6. Нелинейный кристалл ниобата лития (10) ориентирован вдоль оптической оси излучателя. Для юстировки используется вспомогательный лазер (18) 532нм с блоком питания (19) и призмой (17). Для цифрового анализа профиля пучка используется ПЗС-камера (15) и компьютер (16).

Методика сборки и юстировки.

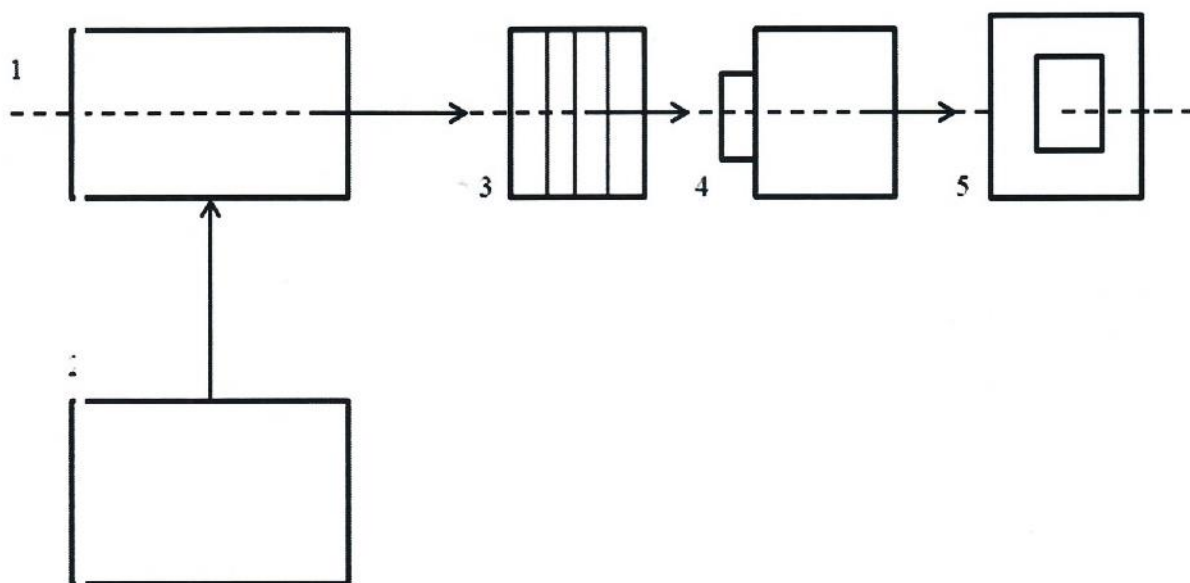
Включить питание юстировочного лазера (18) и с помощью призмы (3) направить зеленый луч лазера строго вдоль оптической оси на одной и той же высоте и по нему отъюстировать платформу излучателя. Закрепить на платформе корпуса осветителя и резонатора. Отъюстировать оптические элементы осветителя. Сначала найти правильное положение призмы-куба, чтобы отраженный от него пучок совпал с юстировочным лучом. Далее добиться симметричного креста от излучателя лазерных диодов (1 и 4) в центре выходного отверстия, установить объектив (6) и добиться фокусировки излучения накачки на активном элементе (9) в корпусе резонатора. Далее отъюстировать и склеить зеркала резонатора (8,11) и нелинейный кристалл (10). В последнюю очередь производится юстировка телескопа.

Измерение диаметра лазерного пучка на выходе и эллиптичности пятна. Для этого на стенде реализуется схема измерений, представленная на рисунке 3.

На выходе лазера (1) устанавливается набор нейтральных фильтров (3) для выбора линейного режима работы ПЗС-камеры (4). Расстояние от выходного торца излучателя до фоточувствительного слоя ПЗС-камеры 4-5см. Добиться попадания пучка в центр мишени камеры, включить компьютер и программу цифрового анализа профиля лазерного пучка. Результаты измерения представлены на рисунке 4. Компьютер просчитывает все параметры лазерного пучка. Диаметр пучка на выходе 1,2мм. Эллиптичность 0,963.

Методика измерения угловой расходимости реализуется по схеме, представленной на рисунке 5. На выходе лазера (1) устанавливается собирающая линза (4) с фокусным расстоянием 1м так, чтобы лазерный пучок проходил по главной оптической оси линзы (4) и на расстоянии 1м в фокусе помещается ПЗС-камера, перед которой предварительно размещается набор нейтральных фильтров. Добиться попадания лазерного пучка в центр приемной площадки камеры. Включить компьютер и программу цифрового анализа профиля пучка. Результат цифрового анализа и профиль пучка представлены на рисунке 6. Угловая расходимость оказалась равной 0,56миллирадиан.

Рисунок 3. Схема измерения диаметра лазерного пучка и эллиптичности.



1 – лазерный излучатель;

- 2 – стабилизированный блок питания 5V;
- 3 – набор нейтральных фильтров;
- 4 – ПЗС – камера;
- 5 – компьютер.

Рисунок 4. Профиль лазерного пучка на выходе лазера, полученный с применением ПЗС – камеры и компьютера.

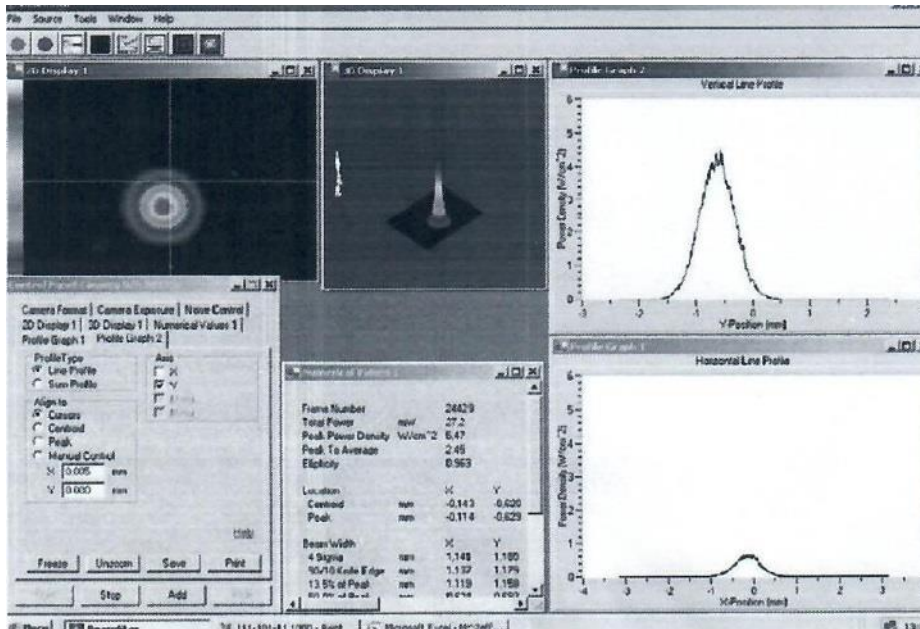
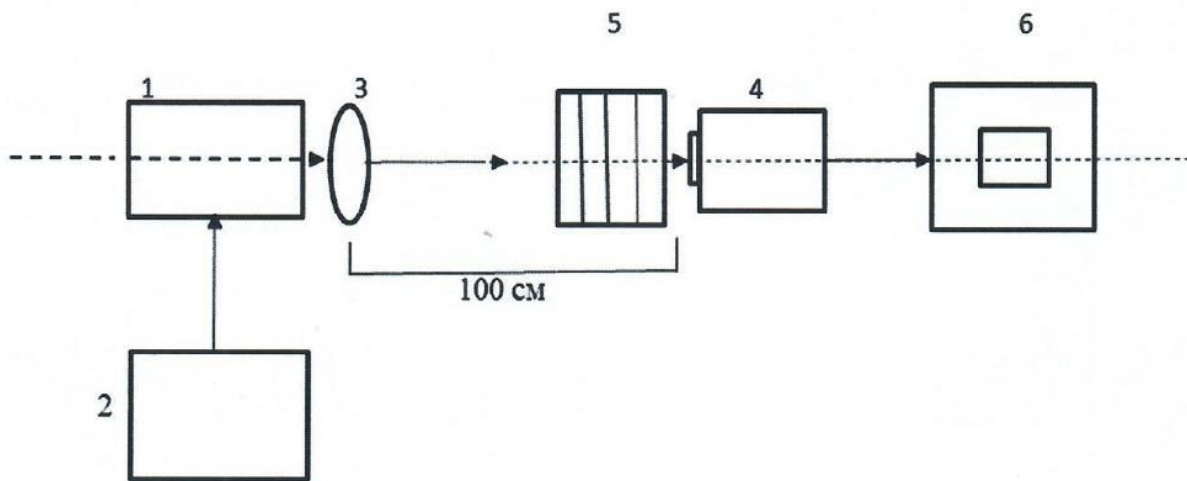
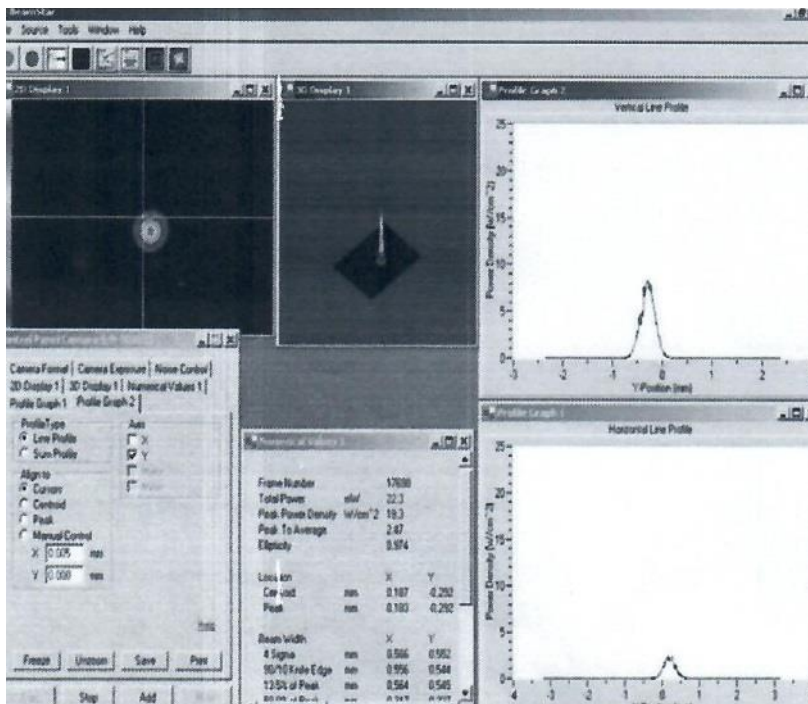


Рисунок 5. Схема измерения расходимости лазерного пучка.



- 1 – лазерный излучатель;
- 2 – Стабилизированный блок питания 5 Вольт;
- 3 – набор нейтральных фильтров;
- 4 – фокусирующая линза с фокусным расстоянием 1м;
- 5 – ПЗС – камера;
- 6 – компьютер или ноутбук.

Рисунок 6. Профиль лазерного пучка в фокусе собирающей линзы с фокусным расстоянием 1 м.



В проекте появился цифровой анализ интерферограмм, полученных от когерентных и частично когерентных лазеров в условиях эксперимента. Вначале плечи неподвижного и подвижного зеркал устанавливаются одинаковыми, наблюдают четкую интерференционную картину с максимальной видимостью. Затем, последовательно сдвигая подвижное зеркало, несколько раз проводим измерение видимости до исчезновения интерференционной картины, когда разность хода оказывается больше длины когерентности лазера. Исследовалась когерентность различных лазеров, включая доступные на рынке лазерные указки. Наибольшая когерентность наблюдается в лазерах с эталоном Фабри – Перо, обеспечивающих одночастотный режим. Длина когерентности собранного нами лазера на ванадате с диодной накачкой оказалась равной 3 м. Наименьшую длину когерентности имели доступные на рынке указки производства китайских компаний и полупроводниковые лазерные диоды в силу особого механизма генерации и относительно большой угловой расходимости.

Заключение

Разработан действующий макет лазерного интерферометра для измерения когерентности световых пучков. Лабораторный стенд позволяет выполнять исследовательские проекты по лазерной физике, собирать лазеры с диодной накачкой с заданными параметрами и исследовать их с применением цифровых технологий и использованием ПЗС – камеры и компьютера. Лабораторный стенд позволяет также собрать на его основе ряд учебно-исследовательских лабораторных работ для учащихся и студентов и высших образовательных учреждений.

Литература

1. Звелто О. Принципы лазеров. Перевод с английского М.: Мир, 1990, с. 558

2. Тарасов Л. В. Физика лазера. Издание пятое. М. Ленанд, 2017, с. 456
3. Русинов М. М. Техническая оптика. 2017 – 438 с.
4. Познер Б. И. Физические основы лазерной техники. Учебное пособие. ИНФРА – М:2017
5. Рябухов В. П., Мякин Д. Б. Эффекты продольной пространственной когерентности света в интерференционном эксперименте. Оптика и спектроскопия. 2005, Т. 48, в. 3, С. 309 - 320